

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-207684

(P2003-207684A)

(43)公開日 平成15年7月25日(2003.7.25)

(51)Int.Cl.⁷
G 0 2 B 6/30
6/122
6/13

識別記号

F I
G 0 2 B 6/30
6/12

テ-マード*(参考)
2 H 0 3 7
A 2 H 0 4 7
M

審査請求 有 請求項の数16 OL (全14頁)

(21)出願番号 特願2002-5415(P2002-5415)

(22)出願日 平成14年1月15日(2002.1.15)

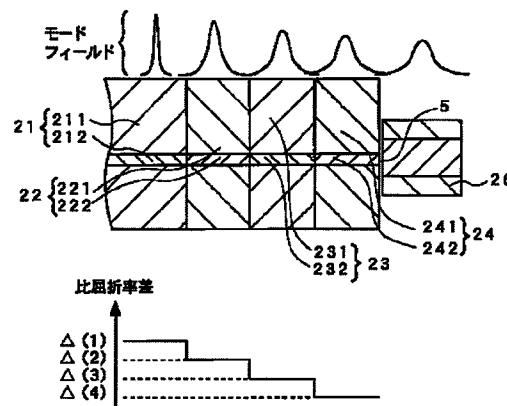
(71)出願人 000004237
日本電気株式会社
東京都港区芝五丁目7番1号
(72)発明者 下田 翔
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
(74)代理人 100090158
弁理士 藤巻 正憲
Fターム(参考) 2H037 AA01 BA24 DA04
2H047 KA04 KA12 KA13 KB04 PA04
PA05 PA21 PA24 QA02 TA00
TA36

(54)【発明の名称】光結合器及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】比屈折率差が高い光導波路に対して光ファイバ結合損失を小さくでき、製造トレランスが高く、高歩留まりであり、小型で位置トレランスも大きく、基板上の任意の位置に形成可能なスポットサイズ変換機能を有する光結合器及びその製造方法を提供する。

【解決手段】同一基板上に比屈折率差が高い第1導波路21及びそれより比屈折率差が段階的に小さくなる第2導波路22乃至第4導波路24を順次形成する。第1導波路21乃至第4導波路24は光学的に結合されており、比屈折率差が導波路端面5に向かうにつれて段階的に小さくなっている。これにより、スポットサイズが導波路端面5に向かって大きくなるように変換される。第2導波路22乃至第4導波路24を形成したことにより、スポットサイズは滑らかに拡大され、光ファイバ26との結合損失が低減される。



- 5:導波路端面
- 26:光ファイバ
- 21:第1導波路
- 211:第1クラッド
- 212:第1コア
- 22:第2導波路
- 221:第2クラッド
- 222:第2コア
- 23:第3導波路
- 231:第3クラッド
- 232:第3コア
- 24:第4導波路
- 241:第4クラッド
- 242:第4コア

【特許請求の範囲】

【請求項1】 コア及びクラッドからなる複数個の光導波路が相互に光学的に結合するように同一基板上に形成され、各光導波路を伝搬する光のスポットサイズが光出射端面に向かって順次拡大されるスポットサイズ変換部を有し、前記各光導波路は、前記光出射端面に向かって、比屈折率差が順次小さくなるように配列されていることを特徴とする光結合器。

【請求項2】 前記複数の光導波路は、同一のクラッド材料及び異なる屈折率のコア材料によって形成されていることを特徴とする請求項1に記載の光結合器。

【請求項3】 前記複数の光導波路は、同一のコア材料及び異なる屈折率のクラッド材料によって形成されていることを特徴とする請求項1に記載の光結合器。

【請求項4】 前記複数の光導波路のうち、少なくとも1つの光導波路のコアの幅が光伝搬方向に対して部分的にテープ状に広げられているか、又は狭められていることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の光結合器。

【請求項5】 コア及びクラッドからなる複数個の光導波路が相互に光学的に結合するように同一基板上に形成され、各光導波路を伝搬する光のスポットサイズが光出射端面に向かって順次拡大されるスポットサイズ変換部を有し、前記コアは、前記光出射端面に向かって、屈折率が順次小さくなるように配列されており、前記コアの幅は前記光出射端面に近づくに従い、屈折率が高い側では部分的にテープ状に狭められ、屈折率が低い側では部分的にテープ状に広げられていることを特徴とする光結合器。

【請求項6】 前記端面近傍において、前記光導波路のスポットサイズよりも大きいスポットサイズを有する光素子又は光部品と光学的に結合しているか、又は前記端面から自由伝搬による放射を伴うことを特徴とする請求項5に記載の光結合器。

【請求項7】 前記光導波路と光ファイバとが前記端面において光学的に結合していることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の光結合器。

【請求項8】 前記光導波路が間隙を挟んで相対して前記基板上に配置されて光学的に結合しており、前記間隙には、薄膜部材が実装されているか、又はポリマー樹脂が充填されていることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の光結合器。

【請求項9】 コア及びクラッドからなる複数個の光導波路が相互に光学的に結合するように同一基板上に形成され、各光導波路を伝搬する光のスポットサイズが光出射端面に向かって順次縮小されるスポットサイズ変換部を有し、前記各光導波路は、前記光出射端面に向かって、比屈折率差が順次大きくなるように配列されていることを特徴とする光結合器。

【請求項10】 前記複数の光導波路のうち、少なくと

も1つの光導波路のコアの幅が前記端面に近づくに従い部分的にテープ状に狭められていることを特徴とする請求項9に記載の光結合器。

【請求項11】 前記端面近傍において、前記光導波路のスポットサイズよりも小さいスポットサイズを有する光素子又は光部品と光学的に結合していることを特徴とする請求項9又は10に記載の光結合器。

【請求項12】 コア及びクラッドからなる複数個の光導波路が相互に光学的に結合するよう形成され、更に並列する光導波路のコアとの間で近接導波路干渉回路を構成する光結合器において、前記干渉回路を含む領域にて前記光学的に結合する光導波路はそのコアの比屈折率差が相互に異なるものであることを特徴とする光結合器。

【請求項13】 前記異なる比屈折率差を有する複数の光導波路において、比屈折率差の小さい光導波路のコアの厚さが、比屈折率差の大きい光導波路のコアの厚さよりも厚いことを特徴とする請求項1乃至12のいずれか1項に記載の光結合器。

【請求項14】 前記異なる比屈折率差を有する複数の光導波路の結合部において少なくとも一方のコアの結合面が基板に垂直な方向に対して斜めに形成されていることを特徴とする請求項1乃至13のいずれか1項に記載の光結合器。

【請求項15】 基板上でコア及びクラッドからなり、同一基板上で光学的に結合された複数の段階的に異なる屈折率を有するコアからなり、伝搬光のスポットサイズが部分的に拡大されてなるスポットサイズ変換部を有する光導波路の製造方法において、下クラッド及びコア層を成膜し、前記スポットサイズ変換部を含む前記コア層の一部を除去する工程と、前記コア層より屈折率の低い低屈折率コア層を成膜する工程と、前記コア層上に成膜された余分な前記低屈折率コア層を除去する工程とを有することを特徴とする光結合器の製造方法。

【請求項16】 前記コア層上に成膜された前記低屈折率コア層を除去する際に、前記コア層と前記低屈折率コア層との境界部に0.5~5μmの間隙を形成することを特徴とする請求項15に記載の光結合器の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信などに使用され、複数個の光導波路からなるスポットサイズ変換部を有する光結合器及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】インターネットの急激な普及とともに、光通信システムの商用化展開が極めて急速に進んでいる。通常の電話回線で12万回線以上を伝送できる10Gb/sシステム等が多くの地域で導入されており、情報伝送容量の拡大にあわせて、波長多重(WDM)方式によって多重数倍の大容量化を図る方式が既に実用化されるに至っている。このような大容量通信を実現する上で

欠くことができないのがPLC(Planar Lightwave Circuit)と呼ばれる光導波路デバイスである。

【0003】PLCとしては、例えば、WDM通信での合分波機能をもつアレイ導波路格子(AWG)と、双方向の通信が要求されるアクセス系システムに使用される送受信用回路等がある。これらのPLCデバイスにおいて強く求められているのが素子の小型化である。素子の小型化によりボード内での素子の占有面積を低減することができ、更に1ウェハ当たりの素子収量を増加でき、素子の低コスト化が可能となる。

【0004】合波、分波及び分岐等の機能を有する光導波路デバイスの素子サイズは、概略、曲線導波路部分の曲率半径によって制限される。より小さな曲率半径でも低損失な曲線導波路を形成するには、コア層とクラッド層との比屈折率差 Δ を大きく設定すればよい。例えば、通常石英系の光導波路で採用される比屈折率差 Δ が0.7%程度の光導波路の場合、曲がり損失を0.1dB/cm以内にするには、曲率半径を6mm以上とする必要があるが、比屈折率差 Δ を1.5%とすることにより、曲率半径を2mmにすることが可能となる。更には、比屈折率差 Δ を4%とすることにより、曲率半径を0.5mmにまで短くすることが可能である。

【0005】しかし、比屈折率差 Δ を大きくすることによる弊害もある。一つには、ファイバとの結合損失が増加することである。図17に示すように、比屈折率差 Δ を大きくすると、伝搬光のシングルモード条件を満たすために、コア2020の断面サイズを小さくする必要があり、それに伴い光ファイバ26のスポットサイズとの違いによる結合損失が増加してしまい、素子サイズの小型化を図ることはできても、光モジュールとしての損失増加につながってしまう。

【0006】別の弊害としては、導波路に間隙がある場合、回折により結合損失が増大することである。例えば、図20に示すように、導波路の一部に溝を作り、その溝に光素子及び薄膜部材2350を挿入するようなハイブリッド実装構造がよく用いられる。薄膜部材2350としては、例えば、波長フィルタ板及び波長板等が用いられる。薄膜を実装する以外にも、アサーマル化のために、溝に屈折率温度係数が負となるようなポリマー材を充填するような構造も使用される。スポットサイズが小さい高比屈折率差 Δ の構造では間隙での回折による光の広がりが大きくなってしまい、導波路-光素子間又は導波路-導波路間の結合損失が増大し、この弊害が極めて大きい。

【0007】いずれにしても、素子の小型化を図ることができても、モジュール全体の損失が大きければ、現実的な使用には適さない。従って、小型でかつ低損失な光モジュールを作製するために、導波路の曲線領域を高比屈折率差 Δ にして曲率半径を低減するとともに、光ファイバ結合部及び導波路間隙付近等のスポットサイズを拡

大して、光導波路-光ファイバ間、又は光導波路間隙部での結合損失を小さくするようなスポットサイズコンバータ(以下、SSC(Spot Size Converter)と略す)が必要である。しかも、SSCは、素子端にだけ形成するとは限らないので、ウェハ内の任意の位置に形成可能であることが必要である。

【0008】従来より、SSCとして、光伝搬方向に対し、ファイバ結合部に近づくに従って導波路幅をテーパ状に大きくしていく方法が知られている。以下、この方法を先広がり型SSCと呼ぶ。この方法は導波路幅を変えるだけであるため、通常のフォトリソグラフィを用いて作製可能であり、SSCのない通常の導波路作製と比較して工数の増加は全くない。従って、この方法は量産性が優れた方法といえる。更に、SSC長は1mm以下にすることができるため、SSCを搭載することによる素子面積の増加はほとんどない。従って、この方法はモジュールの小型化が容易な方法である。

【0009】しかしながら、この先広がり型SSCは、光導波路の幅方向にしかスポットが広がらないため、1%を超えるような高比屈折率差 Δ の光導波路に対しては、実際には結合損失はあまり低減できない。例えば、コア幅及び高さが3μmで比屈折率差 Δ が1.9%の光導波路を例にとると、シングルモードファイバとの結合損失は2.7dB程度であるが、この方法であると、結合損失を1.5dB程度までにしか低減できない。

【0010】図18は先広がり型SSCの欠点を補う方法として、上述とは逆に、導波路幅を導波路端面5に近づくに従ってテーパ状に小さくしていく従来例である。以下、この方法を先すぼみ型SSCと呼ぶ。この方法は図17に示す従来例と全く同じ長所を有する上に、光ファイバ26との結合損失も、先広がり型SSCと比較して低減可能である。これは伝搬光の閉じ込めが弱まり、スポットが高さ方向にまで広がるためである。例えば、上述の比屈折率差 Δ が1.9%の光導波路とファイバとの結合損失は0.7dB程度にまで低減可能であり、实用上有効な方法である。

【0011】更に、他の方法として、図19に示すように、高比屈折率差 Δ の導波路基板2210と光ファイバ26との間に、その中間の比屈折率差 Δ 値を有する入出力用導波路基板2211を挿入する方法が、例えば、高木ら(2001年秋電子情報通信学会C-3-90)によって提案されている。高比屈折率差 Δ の導波路基板2210と入出力用導波路基板2211は出力光をモニタリングしながら位置合わせされ、接着剤により接合される。この方法は比屈折率差 Δ の変化を2段階にすることにより、直接高比屈折率差 Δ の導波路基板2210と光ファイバ26を結合する場合と比較してモード不整合を低減し、結合損失の低減を図るものである。光軸ずれによる過剰損失を考慮すると、上記例の結合損失は0.8dB程度に低減できる。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】上述の如く、先すばみ型SSCは、先広がり型SSCに比べて、結合損失の低減が可能であるが、この方法でも近時の低損失化の要求を十分に満足できる程度に結合損失を低減できる訳ではない。モジュール低損失化のためには結合損失を更に低減する必要がある。先すばみ型SSCは、先端の導波路幅を小さくする程、スポットを広げることができる。ところが、導波路幅のある限界値よりも小さくすると、伝搬光は放射モードとなり、結合損失は逆に増大する。従って、結合損失の低減にも限界があるという問題がある。先すばみ型SSCの別の問題点は、比屈折率差 Δ が大きくなるほど高い加工精度が要求され、良品歩留まりが低下することである。PLC素子を更に一層小型化するためには、一層高い比屈折率差 Δ にも対応可能なSSCが必要である。例えば、1.5%以上の比屈折率差 Δ に適用するには、先すばみ型SSCを用いた場合、SSC先端の導波路幅を1μm以下にまで小さくしなければならない。3%以上の比屈折率差 Δ に対しては、先端の導波路幅を0.5μm以下にする必要がある。このようなサブミクロンのオーダーの加工は、現行の導波路プロセスにおいては歩留まりよく再現することは困難である。

【0013】一方、入出力導波路基板2211を使用した方法は以下のようないくつかの問題点がある。先ず、高比屈折率差 Δ の導波路基板2210と入出力導波路基板を接続するのに少なからぬ工数の増大がある。高比屈折率差 Δ になるほどPLC素子接続時に位置ずれに対する許容値(トランジンス)は小さくなり、位置合わせが困難になる。また、入出力導波路基板2211の分だけ全体の素子サイズが大型化する。更に、このような入出力導波路基板2211を用いた構造は光ファイバ接続部のような素子端部以外に使用することはできない。従って、導波路に間隙がある場合に、回折による光の広がりを抑えるように、基板上の任意の位置にSSCを作り込むことは不可能である。

【0014】以上、光ファイバ等、導波路よりスポットサイズが大きい素子との結合損失を低減するためのSSCの必要性とその問題点について述べた。一方、導波路よりもスポットサイズが小さい素子との結合を行うケースもある。このような場合、結合損失を低減するためには、上述とは逆に、導波路端面近傍でのスポットサイズを縮小するようなSSCも必要となる。このようなSSCは従来あまり考えられていなかった。

【0015】この他にも、高比屈折率差 Δ 化による問題点が顕在化してきている。例えば、方向性結合器等の近接導波路による光干渉回路においては、高比屈折率差 Δ の導波路を用いると、結合長が極めて長くなり、その結果、素子サイズが増大してしまうという別の問題点もあった。高比屈折率差 Δ 化した場合、同じ結合長を得るた

10

20

30

40

50

めには、方向性結合器の導波路間ギャップを小さくしなければならないが、最小ギャップはパターニングの精度によって制限されているため、結合長を増大せざるを得ない。

【0016】本発明はかかる問題点に鑑みてなされたものであって、高比屈折率差 Δ の導波路に対して、従来の先細り型SSCよりも光ファイバとの結合損失を小さくでき、製造トランジンスが高く、高歩留まりであり、入出力導波路基板を用いた方法に比べて小型で位置トランジンスも大きく、基板接続工程がない1素子内蔵型のSSCを有する光結合器及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0017】また、本発明の他の目的は、導波路間に間隙があるような場合にも適用可能であり、基板上の任意の位置に形成可能なSSCを有する光結合器及びその製造方法を提供することにある。

【0018】更に、本発明の更に他の目的は、導波路よりもスポットサイズが小さい光素子との結合損失を低減するため、スポットサイズを縮小可能なSSCを有する光結合器及びその製造方法を提供することにある。

【0019】更にまた、本発明の更に他の目的は、更に、高比屈折率差 Δ の導波路に対して、近接導波路干渉回路の素子の増大化を抑えるためのSSCを有する光導波路を提供することを目的とする。

【0020】

【課題を解決するための手段】本発明に係る光結合器は、コア及びクラッドからなる複数個の光導波路が相互に光学的に結合するように同一基板上に形成され、各光導波路を伝搬する光のスポットサイズが光出射端面に向かって順次拡大されるスポットサイズ変換部を有し、前記各光導波路は、前記光出射端面に向かって、比屈折率差が順次小さくなるように配列されていることを特徴とする。

【0021】前記光結合器において、前記複数の光導波路は、同一のクラッド材及び異なる屈折率のコアによって形成することが可能である。また、前記光結合器において、前記複数の光導波路は、同一のコア材及び異なる屈折率のクラッドによって形成することも可能である。

【0022】また、好適には、前記複数の光導波路のうち、少なくとも一つの光導波路のコアの幅が伝搬方向に対して部分的にテーパ状に広げられているか、又は狭められている。

【0023】また、本発明の他の光結合器は、コア及びクラッドからなる複数個の光導波路が相互に光学的に結合するように同一基板上に形成され、各光導波路を伝搬する光のスポットサイズが光出射端面に向かって順次拡大されるスポットサイズ変換部を有し、前記コアは、前記光出射端面に向かって、屈折率が順次小さくなるように配列されており、前記コアの幅は前記光出射端面に近くに従い、屈折率が高い側では部分的にテーパ状に狭

められ、屈折率が低い側では部分的にテープ状に広げられていることを特徴とする。

【0024】本発明の光結合器によれば、前記光出射端面の近傍において、光導波路のスポットサイズよりも大きいスポットサイズを有する光素子又は光部品と光学的に結合しているか、又は前記端面から自由伝搬による放射を伴う時に低損失の光結合回路を形成できる。特に、光ファイバと前記光出射端面において光学的に結合することができる。

【0025】更に、光導波路が基板上で間隙を挟んで相対して光学的に結合しており、前記間隙には、薄膜部材が実装されているか、又はポリマー樹脂が充填されていることを特徴とする光結合回路を形成できる。

【0026】一方、本発明に係る更に他の光結合器は、コア及びクラッドからなる複数個の光導波路が相互に光学的に結合するように同一基板上に形成され、各光導波路を伝搬する光のスポットサイズが光出射端面に向かって順次縮小されるスポットサイズ変換部を有し、前記各光導波路は、前記光出射端面に向かって、比屈折率差が順次大きくなるように配列されていることを特徴とする。

【0027】好適には、本光結合器は、前記複数の光導波路のうち、少なくとも一つの光導波路のコアの幅が前記端面に近づくに従い部分的にテープ状に狭められていることを特徴とする。

【0028】この光結合器は、前記端面近傍において、該光導波路のスポットサイズよりも小さいスポットサイズを有する光素子又は光部品と光学的に結合することができる。

【0029】また、本発明に係る更に他の光結合器は、コア及びクラッドからなる複数個の光導波路が相互に光学的に結合するよう形成され、更に並列する光導波路のコアとの間で近接導波路干渉回路を構成する光結合器において、前記干渉回路を含む領域にて前記光学的に結合する光導波路はそのコアの比屈折率差が相互に異なるものであることを特徴とする。

【0030】好適には、前記異なる比屈折率差を有する複数の光導波路において、比屈折率差の小さい光導波路のコアの厚さが、比屈折率差の大きい光導波路のコアの厚さよりも厚いことを特徴とする。

【0031】更に好適には、前記異なる比屈折率差を有する複数の光導波路の結合部において、少なくとも一方のコアの結合面が基板に垂直な方向に対して斜めに形成されていることを特徴とする。

【0032】また、本発明に係る光結合器の製造方法は、基板上でコア及びクラッドからなり、同一基板上で光学的に結合された複数の段階的に異なる屈折率を有するコアからなり、スポットサイズ部分的に拡大されてなるスポットサイズ変換部を有する光導波路の製造方法において、下クラッド及びコア層を成膜し、前記スポット

サイズ変換部を含む前記コア層の一部を除去する工程、前記コア層より屈折率の低い低屈折率コア層を成膜する工程、前記コア層上に成膜された余分な前記低屈折率コア層を除去する工程を含むことを特徴とする。

【0033】好適には、前記コア層上に成膜された前記低屈折率コア層を除去する際に、前記コア層と前記低屈折率コア層との境界部に0.5～5μmの間隙を形成することを特徴とする。

【0034】

10 【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、添付の図面を参照して具体的に説明する。図1は本発明の第1実施例に係る光結合器を示す上面図である。基板(図示せず)上に、コア及びクラッドからなる複数個(n個)の第1光導波路11、第2光導波路12、…、第(n-1)光導波路13、及び第n光導波路14が形成されており、最終光導波路14の光出射端面が導波路端面5(光結合器の光出射端面)となっている。

20 【0035】第1光導波路11は第1クラッド111と第1コア112とを有し、第2光導波路12は第2クラッド121と第2コア122とを有し、第(n-1)光導波路13は第(n-1)クラッド131と第(n-1)コア132とを有し、第n光導波路14は第nクラッド141と第nコア142とを有する。

20 【0036】これらの光導波路11乃至14は、相互に光学的に結合するよう、基板上に配列されている。なお、導波路端面5から遠いものから順に、第1、第2、…、第(n-1)、第n番目の光導波路と名付ける。このn種類の光導波路は、コアとクラッドとの比屈折率差Δが相互に異なり、夫々Δ(1)、Δ(2)、…、Δ(n-1)、Δ(n)とする。図中のグラフに示すとおり、比屈折率差Δは導波路端面5に近づくに従い、順次、段階的に小さくなるように、即ち、Δ(1)>Δ(2)>…>Δ(n-1)>Δ(n)となるように配列されている。

30 【0037】曲がり導波路等のデバイスの主要部分は、主に比屈折率差Δが最も高い第1光導波路11によって構成され、第2～第n光導波路12乃至14は導波路端面5の近傍に形成される。図1中には各光導波路において、光導波路中を伝搬する光のモードフィールドを表す概略図も示してある。伝搬光のスポットサイズは高比屈折率差Δの光導波路では小さいが、低比屈折率差Δの光導波路側に伝搬するに従い、順次拡大される。

40 【0038】このように構成された本実施例の光結合器は、導波路端面5の付近で第1光導波路11よりもスポットサイズが大きい光部品6と光導波路を低損失で結合する場合か、又は導波路端面5から自由伝搬ビームが放射されるような場合に適する。

50 【0039】図2は本発明の第2の実施例に係る光結合器の上面図である。この構成は第1の実施例とは全く逆で、比屈折率差Δは導波路端面5に近づくに従い、順次、段階的に大きくなるように、即ち、Δ(1)<Δ(2)

<、・・・、 $\Delta(n-1) < \Delta(n)$ となるように配列されている。図2に示すように、第1光導波路15（第1クラッド151、第1コア152）、第2光導波路16（第2クラッド161、第2コア162）、第(n-1)光導波路17（第(n-1)クラッド171、第(n-1)コア172）及び第n光導波路18（第nクラッド181、第nコア182）が、基板上に相互に光学的に結合するように配置されており、最終光導波路18の光出射面が導波路端面5となっている。

【0040】このように構成された第2実施例の光結合器においては、伝搬光のスポットサイズは低比屈折率差 Δ の光導波路15では大きく、導波路端面5側の高比屈折率差 Δ の光導波路18側に伝搬するに従い、順次縮小される。このため、本実施例の光結合器は、第1光導波路15よりもスポットサイズが小さい光部品16と光導波路を低損失で結合する場合に適する。

【0041】以上のように、本発明は、光導波路と光部品との結合等のように、そのスポットサイズに大きなミスマッチがある場合に、1つ以上の両者の中間の比屈折率差 Δ を有する光導波路を、比屈折率差 Δ が大きい順又は小さい順に並べ、この光導波路と同一基板上に集積して、低損失でスポットサイズの拡大又は縮小を行うものである。

【0042】図15は本発明による光結合器を用いて高比屈折率差 Δ の光導波路とシングルモードファイバとの結合損失をビーム伝搬法を用いてシミュレーションした結果を示す。同図において、横軸は伝搬方向の切断位置Z、縦軸は結合損失である。この結合損失は、高比屈折率差 Δ の導波路と低比屈折率差 Δ の導波路との結合損失と、光ファイバとの結合損失の和である。高比屈折率差 Δ の導波路のテーパの起点を $Z=0$ とし、伝搬方向に進むに従い、Zは増加する。第一の実施例の場合 $Z=2\text{ m}$ で光ファイバと結合する。 $Z=0$ 、即ちSSCが何もないときの結合損失は 2.7 dB であるのに対し、 $Z=1\text{ mm}$ の手前までに約 1 dB にまで減少する。これは高比屈折率差 Δ の導波路の先すばみ型SSCの効果である。 $Z=1\text{ mm}$ で低比屈折率差 Δ の導波路に結合し、そこでは結合損失は約 0.5 dB にまで減少する。この高比屈折率差 Δ の導波路とファイバの中間の比屈折率差 Δ の存在により、モードミスマッチは低減する。更に、低比屈折率差 Δ の導波路の先広がり型SSCにより結合損失は約 0.3 dB まで減少することが分かる。以上により、本発明に係るSSCを用いた光導波路により、光ファイバとの結合損失は 2.7 dB から 0.3 dB にまで低減できることが分かった。従って、従来の先すばみ型SSCによる結合損失の最低値 0.7 dB よりも大幅に結合損失を低減できる。

【0043】図16は本発明によるSSCを用いた光導波路と従来の先すばみ型SSCの光ファイバ結合損失を比較した図である。同図に示されるように、本発明によ

るSSCでは比屈折率差 Δ が $0.65\% \sim 4\%$ と極めて大きな値にいたるまでほとんど結合損失の増加は見られず、比屈折率差 Δ が 4.0% の場合においても、 0.4 dB という低い値である。一方、従来の先すばみ型SSCでは、比屈折率差 Δ が 0.65% の場合は、本発明による光導波路とほとんど同じであるものの、比屈折率差 Δ の増加に伴い、急激に増加し、比屈折率差 Δ が 4% の場合においては、 2 dB を超てしまうことが分かる。従って、本発明に係るSSCを用いた光導波路は、極めて広い比屈折率差 Δ の範囲に対して、結合損失の低減に有効である。

【0044】次に、図1に示す第1実施例を4段の光導波路21、22、23、24に更に具体化した第3実施例について図3を参照して説明する。図3はこの第3の実施例に係る光結合器を示す上面図である。基板上に第1～第4光導波路の4種類の光導波路を形成した。図中のグラフに示すように導波路端面5に近づくに従い、各光導波路の比屈折率差 Δ は、例えば、 $\Delta(1)=2\%$ 、 $\Delta(2)=1.5\%$ 、 $\Delta(3)=1.0\%$ 、 $\Delta(4)=0.5\%$ と段階的に減少するように配列されている。

【0045】第2乃至第4の各光導波路21乃至24は、夫々、例えば、長さが $500\mu\text{m}$ 、コアは幅、厚さとも $3\mu\text{m}$ である。基板には例えばシリコン基板を使用し、クラッド211等には、上下とも、例えばBPSG膜（厚さ $10\mu\text{m}$ ）を使用し、コア212等にはGPSG膜を使用する。これらのクラッド及びコアの成膜には常圧CVD法を使用することができる。

【0046】第1～第4光導波路まで導波路毎に比屈折率が異なるクラッド及びコアを用いた。波長 $1.55\mu\text{m}$ での比屈折率は例えば次のとおりである。即ち、第1クラッド211から第4クラッド241まで順に、比屈折率が 1.445 、 1.472 、 1.452 、 1.460 であり、第1コア212から第4コア242まで順に、比屈折率が 1.474 、 1.472 、 1.467 、 1.467 である。なお、比屈折率差 Δ が上述のものであれば、特にコア及びクラッドの比屈折率自体は問わない。また、コアの幅も比屈折率差 Δ に応じて変化しても構わない。

【0047】上述の数値条件を有する第3実施例の光結合器の場合、光ファイバ26との結合損失は第1の光導波路21と直接結合した場合の 2.7 dB から 0.5 dB にまで改善される。

【0048】図4は本発明の第4実施例に係る光結合器を示す上面図である。この第4実施例が図3に示す第3実施例と相違する点は、第1～第4光導波路において、クラッドは全て同一膜を用い、コアのみ屈折率を変えた点である。その他の構成及び材料は第1の実施例と同じである。屈折率は、例えば、クラッド31が 1.445 、第1コア321が 1.474 、第2コア322が 1.467 、第3コア323が 1.460 、第4コア3

24が1.452である。

【0049】CVD法などではこのようにクラッド31を一括して成膜した方が容易である。結合損失は、大略、比屈折率差 Δ のみで決定されるので、本第4実施例の場合も、上記数値条件で、結合損失は0.5dBが得られる。

【0050】図5は本発明の第5の実施例を示す光結合器の上面図である。図3に示す第3の実施例との違いは、第1～第4光導波路において、コア42は全て同一膜を用い、クラッドのみ屈折率を変えた点である。即ち、屈折率は、例えば、コア42が1.475、第1クラッド411が1.446、第2クラッド412が1.453、第3クラッド413が1.460、第4クラッド414が1.468である。その他の構成は上記第3実施例と同じである。

【0051】本第5実施例の場合、各導波路間でのコア42の連結部がなくなるため、それに伴う過剰損失を低減できる。従って、上記数値条件の場合、結合損失は0.4dBが得られた。

【0052】図6は第6の実施例を示す光結合器の上面図である。図3に示す第3実施例との違いは、第1～第4各導波路のいずれか一つ以上のコアの一部又は全てにおいて、コア幅を変化させ、コアに幅方向のテーパ形状を与え、SSC機能を高めた点である。テーパはスポットサイズが広がる方向であれば、先すばみ型でも先広がり型でも構わない。

【0053】本第6実施例において、図中に示す各導波路の始点と終点の幅、w10, w11, w20, w21, w30, w31, w40, w41は、例えば、夫々3μm、1.6μm、2μm、4μm、4μm、5μm、8μmである。この数値条件において、全て直線テーパを用い、各テーパの長さを500μmとし、その他の寸法は第4の実施例と同じにした場合、結合損失は0.3dBが得られた。

【0054】図7は本発明の第7の実施例を示す光結合器の側面断面図である。第4の実施例に加え、光伝播方向の厚さも変化させたものである。基板53上に下クラッド511及び上クラッド512を導波路端面5側に向けて段階的に薄くなるように形成し、第1コア521、第2コア522、第3コア523及び第4コア524を段階的に厚くなるように形成し、光導波路全体の厚さを均一にしたものである。この場合に、上クラッド512と下クラッド511の屈折率n(0)は同一である。また、第1乃至第4コアと、上クラッド512及び下クラッド511との比屈折率差 Δ は、第1コア521の方が第4コア524より大きく、逆に、第1乃至第4コアの膜厚は、比屈折率差 Δ が小さいほど、厚くする。

【0055】例えば、各コアの膜厚t1, t2, t3, t4を夫々3μm、4.5μm、5μm、6μmとする。各導波路内での膜厚は一定である。その他の構成は、第6の実施例と同じである。その結果、この数値条件において、結

合損失は0.2dBにまで低減された。

【0056】図8は第8の実施例を示す光結合器の側面断面図である。この第8実施例は、第7実施例に加え、各コア連結部の少なくとも一ヶ所に間隙を与える、なおかつ、コア連結面に基板垂直方向に対して傾斜を与えたものである。全連結部(3ヶ所)に対して行うことが望ましいが、一ヶ所でもよい。これは複数のコアを成膜及びエッチングする際に重なった部分に発生する突起状の残留膜を除去する効果と、傾斜によって伝搬光の反射による戻りを低減する効果がある。

【0057】例えば、3ヶ所の連結部に対して間隙g1=g2=g3=1.5μmとし、コア連結面の傾斜角θは80度とした場合、損失は0.2dB、反射光クロストークが-30dBから-50dBに低減される。間隙gは狭すぎると、残留膜が除去できず、広すぎると過剰損失となる。本発明者の評価によると、間隙gは0.5～5μm、傾斜角は75～88が適切であることが分かった。

【0058】図9は本発明の第9の実施例に係る光結合器を示す図であり、(a)が上面図、(b)が側面断面図、(c)がコアとクラッドの屈折率分布である。上述の各実施例では、比屈折率差 Δ が異なる4つの導波路を用いた例を示してきた。ここで問題となるのが、導波路数を増やせば増やすほどモードミスマッチは低減するが、プロセス工数が増加する点である。可能な限り少ないステップで作製可能であることが望まれる。

【0059】本発明者は2つ導波路(n=2)を用いた構造で低損失化できる条件をシミュレーションと実験により導出した。クラッドには上下とも屈折率1.450のBPSGを用いた。成膜には常圧CVD法を用いた。第1コアには屈折率1.480のSiONを用いた。第2コアには屈折率1.462のSiONを用いた。比屈折率差 Δ は第1及び第2導波路で夫々2%及び0.8%である。第1コアは、先すばみ型SSCを用い、厚さt1、幅w10とも3.0μm、SSCの先端の幅w11は1.4μmとした。第2コアは先広がりSSCを用い、厚さ5.5μm、始点の幅w20が5.5μm、導波路端面5近傍での幅w21は1.0μmとした。第1コアと第2コアの連結部のギャップgは2μmとし、コア連結面の傾斜角θは両コアとも80度とした。以上により結合損失0.28dBが得られた。

【0060】本実施例では、第1コアの先すばみ型SSC先端幅を1.4μmとした。通常の先すばみ型SSCのみ使用時では先端幅を0.9μmにしても結合損失が0.7dB程度までしか得られない。本発明者の評価によると幅1.2μm以上であればほとんど歩留まりは問題なくなる。本発明による光結合器を用いることにより、プロセス再現上、非常に安定した領域を使用でき、その上大幅な損失低減が実現できる。

【0061】図10は本発明の第10実施例を示す光結

10
20
30
40
50

合回路の側面断面図である。導波路の一部にダイシングにより溝を形成し、この溝に半波長板を挿入し、接着剤で固定する。同図に示すように、溝の前後に第9の実施例の光結合器を形成する。半波長板内では伝搬光は閉じ込めがない自由伝搬となる。図20に示す従来の構成では、回折が大きく、間隙30μmに対して過剰損失が

1. 5dBだったのに対し、本第10実施例の光結合器においては、溝の前後のスポットサイズが拡大され、過剰損失は0.3dBに減少した。なお、同様の光結合回路として、例えば、溝にポリマーを充填した構造も同様に自由伝搬となるが、同様に低損失化可能である。

【0062】図11は本発明の第11実施例を示す光結合器の上面図である。基板上に第1～第4光導波路の4種類の光導波路を形成した。図中のグラフに示すように導波路端面5に近づくに従い、各導波路の△は、例えば、 $\Delta(1)=0.7\%$ 、 $\Delta(2)=1.2\%$ 、 $\Delta(3)=1.7\%$ 、 $\Delta(4)=2.2\%$ と段階的に増加するように構成する。第2～第4の各導波路は、夫々、例えば、長さは500μm、コアは幅及び厚さがいずれも3μmである。基板にはシリコン、クラッドには上下ともBPSG膜10μm、コアにはGPG膜を用いた。成膜には常圧CVD法を用いた。第1～第4光導波路まで同一のクラッド及び導波路毎に異なる屈折率のコアを用いた。波長1.55μmでの屈折率は、クラッドが1.445、第1コアが1.455、第2コアが1.463、第3コアが1.470、第4コアが1.477である。なお、比屈折率差△が上記のものを用いれば、特にコア及びクラッドの屈折率は問わない。勿論、クラッドを導波路毎に別々の膜にしても構わない。また、コアの幅も△に応じて変化しても構わない。導波路端面5の近傍にて半導体光素子76と端面間距離5μmで光学的に結合させた。半導体光素子としては本実施例ではスポットサイズ変換半導体光アンプ素子を用いた。素子との結合損失は第1の導波路と直接結合した場合の3.0dBから1.2dBにまで改善された。

【0063】図12は本発明の第12実施例を示す光結合器の上面図である。本第12実施例が第11実施例と異なるのは、第1～第4の各導波路に端面5に向かって狭めるような幅方向のテープを付けていることである。導波路端面付近では、例えば、幅が2μmである。これにより、結合損失は0.9dBにまで改善される。

【0064】以上、本発明による光結合器を用いれば、スポットサイズを縮小も容易に可能であり、導波路よりスポットサイズの小さい半導体光素子との結合損失の低減も可能である。なお、第11及び第12の実施例では、第7の実施例で示したのと同様に、比屈折率差△によって膜厚を変えることにより、即ち、比屈折率差△が低いときは厚く、高いときは薄くすると、スポットサイズ変換の効果が高い。

【0065】図13は本発明の第13実施例を示す光導

10

20

30

40

50

波路の上面図である。クラッド1010内の第1コア1021及び第2コア1022からなる光導波路により方向性結合器が構成されている。第1コア1021及び第2コア1022は光学的に結合され、並列する光導波路の第2コア1022同士により近接導波路干渉回路が構成されている。

【0066】例えば、第1コア1021は屈折率1.480、幅及び厚さが2.5μmのSiONを使用し、第2コア1022には屈折率1.460、幅及び厚さが5.5μmのBPSGを使用する。例えば、クラッド1010は上下とも1.450とする。従って、第1、第2コアの比屈折率差はそれぞれ2%、0.7%である。第1コアと第2コアの連結部は第9の実施例に示す構造と同じにした。

【0067】通常のフォトリソグラフィにおいては高精度で安定して再現できる近接導波路間ギャップは2μm程度である。従って、方向性結合器を作製するにはこれ以下にギャップを低減することは避けざるを得ない。このときの完全結合長は第1コアのみで構成すると5mmもの長さになる。しかし、本第13実施例においては、上記数値条件で、500μmに低減することが可能となる。

【0068】図14(a)乃至(e)は本発明の第14の実施例を示す光結合器の製造方法を工程順に示す側面断面図である。図14(a)に示すように、基板1110上に、例えば、下クラッド1121としてBPSGを10μm及び第1コア層1131としてSiONを3μmの厚さに成膜する。成膜には例えばプラズマCVD法を使用する。この他に、FHD法、CVD法、スパッタリング法等が適用できる。

【0069】次いで、図14(b)に示すように、第2コア層1134を形成する領域の余分な第1コア層1131をエッチングにより除去する。エッチングの深さは例えば4.25μmである。

【0070】次いで、図14(c)に示すように、第2コア層1132を例えば5.5μm成膜する。

【0071】次いで、図14(d)に示すように、第1コア層1131の上部に成膜された余分な第2コア層1132を除去する。上記余分な第2コア層1132の除去には、通常のフォトリソグラフィ及びリアクティブイオンエッチング(RIE)が適用できる。余分な第2コア層1132の除去の際には、第1コア層1131との境界部分にある程度間隙を設けることで、凸状の残留膜が残らず、良好な形状となることが分かった。但し、あまり空隙を広くすると、伝搬光の過剰損失が増加する。本発明者の評価によりこの間隙は0.5～5μmが適切であることが分かった。また、好適には、余分な高比屈折率差△の導波路のコア膜及び低比屈折率差△の導波路のコア膜のいずれか又は両方の除去の際には、基板垂直方向に対して斜めにエッチングしてエッティング面を形成

するとよい。これは境界部での伝搬光の反射を低減するためである。以上により2つの導波路の厚さ方向は中心位置が一致するようになる。位置精度はエッチング深さ精度及び成膜時の膜厚精度に依存するが、両者ともに通常±3%程度以下の精度が容易に得られるため、軸ずれは高々0.2μm程度である。

【0072】次に、全てのコアの幅方向のパターニングを一括してフォトリソグラフィ及びRIEを用いて行う。一括したパターニングなので2つのコアの幅方向の軸ずれは全くない。

【0073】最後に、図14(e)に示すように、上クラッド1122を成膜し、第1コア1133及び第2コア1134を上クラッド1122と下クラッド1121との間に埋め込んで、光結合器が完成する。

【0074】以上は2種類のコアを形成する場合の例を説明したが、さらに多種類のコアを形成する場合は、コアの幅方向のパターニングの前に余分な膜の除去及び成膜行程を繰り返せばよい。なお、上述の各使用材料、膜厚、成膜方法、エッチング方法等は、全て一例であり、本発明による製造方法を使用する限り、自由に選ぶことができる。

【0075】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明により、高比屈折率差 Δ の導波路に対して従来よりも光ファイバ結合損失を小さくでき、製造トレランスが高く、高歩留まりであり、小型で位置トレランスも大きく、1素子内蔵型で、基板上の任意の位置に形成可能なスポットサイズ拡大機能を有する光結合器とその製造方法を得ることができる。また、本発明による光結合器を用いれば、比屈折率差 Δ を広範囲にわたって増加しても、結合損失はほとんど増加しない。また、本発明による光結合器を用いれば導波路の一部に薄膜等を実装した導波路回路において、回折による損失の増加をおこすことなく、高比屈折率差 Δ の導波路回路を形成することが可能である。また、本発明により導波路よりもスポットサイズが小さい光素子に対して結合損失を低減できるスポットサイズ縮小機能を有する光結合器とその製造方法を得ることができる。更に、本発明による光結合を用いれば、導波路回路の一部を低比屈折率差 Δ の導波路に置き換えることが可能であり、方向性結合器等の素子サイズを低減することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例に係る光結合器を示す上面図である。

【図2】本発明の第2の実施例に係る光結合器を示す上面図である。

【図3】本発明の第3の実施例に係る光結合器を示す上面図である。

【図4】本発明の第4の実施例に係る光結合器を示す上面図である。

【図5】本発明の第5の実施例に係る光結合器を示す上面図である。

【図6】本発明の第6の実施例に係る光結合器を示す上面図である。

【図7】本発明の第7の実施例に係る光結合器を示す側面断面図である。

【図8】本発明の第8の実施例に係る光結合器を示す側面断面図である。

【図9】(a)乃至(c)は夫々本発明の第9の実施例に係る光結合器を示す上面図、側面断面図及び屈折率を示す図である。

【図10】本発明の第10の実施例に係る光結合器を示す側面断面図である。

【図11】本発明の第11の実施例に係る光結合器を示す上面図である。

【図12】本発明の第12の実施例に係る光結合器を示す上面図である。

【図13】本発明の第13の実施例に係る光導波路を示す上面図である。

【図14】本発明の実施例に係る光結合器の製造方法を工程順に示す断面図である。

【図15】本発明の光結合器による光ファイバ結合損失を表すグラフ図である。

【図16】本発明及び従来の光結合器の光ファイバ結合損失を比較するグラフ図である。

【図17】従来の光結合器を示す上面図である。

【図18】従来の光結合器を示す上面図である。

【図19】従来の光結合器を示す上面図である。

【図20】従来の光結合回路を示す上面図である。

30 【符号の説明】

11, 15, 21, 71, 81 : 第1光導波路

111, 151, 211, 411, 711, 811 : 第1クラッド

112, 152, 212, 321, 521, 621, 921, 712, 812, 1021, 1133, 222

0, 2320 : 第1コア

12, 16, 22, 72, 82 : 第2光導波路

121, 161, 221, 412, 721, 821, : 第2クラッド

122, 162, 222, 322, 522, 622, 922, 722, 822, 1022, 1134, 222

1 : 第2コア

13, 17 : 第(n-1)光導波路

40 131, 171 : 第(n-1)クラッド

132, 172 : 第(n-1)コア

14, 18 : 第n光導波路

141, 181 : 第nクラッド

142, 182 : 第nコア

23, 73, 83 : 第3光導波路

231, 413, 731, 831 : 第3クラッド

232, 323, 523, 732, 832 : 第3コア

24, 84 : 第4光導波路

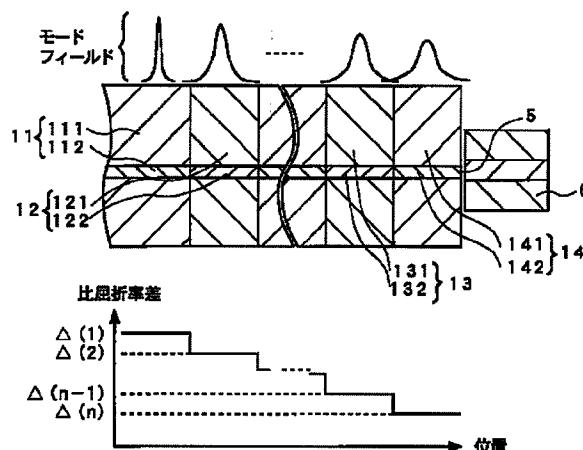
241, 414, 741, 841 : 第4クラッド

242, 324, 524, 742, 842 : 第4コア

5, 94, 2340 : 光導波路端面
 6, 16 : 光部品
 26 : 光ファイバ
 31, 51, 61, 1010, 2010, 2110 : クラッド
 41, 621, 2010, 2020, 2120 : コア
 511, 611, 911, 1121, 2310 : 下クラッド
 512, 612, 912, 1122, 2311 : 上クラッド
 53, 93, 2210, 1110, 1030, 2330 : 基板

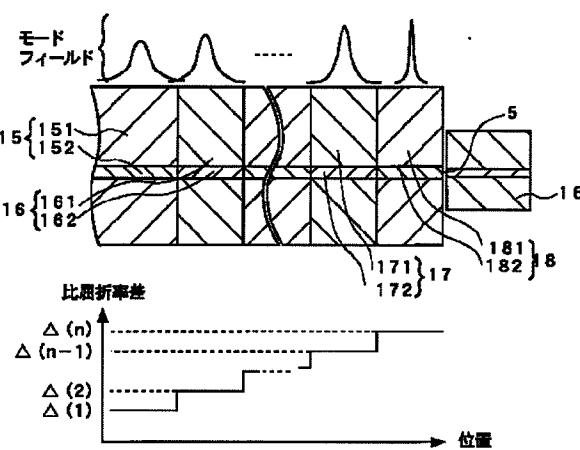
* 95 : 薄膜部材
 76 : 半導体光素子
 1131 : 第1コア層
 1132 : 第2コア層
 2230, 2231 : SSC
 2211 : 入出力導波路基板
 96, 2360 : ビーム光
 * 2350 : 薄膜部材

【図1】



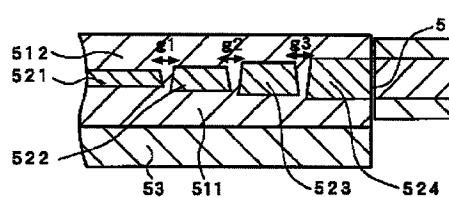
5 : 導波路端面
 6 : 光部品
 11 : 第1光導波路
 111 : 第1クラッド
 112 : 第1コア
 12 : 第2光導波路
 121 : 第2クラッド
 122 : 第2コア
 13 : 第n-1光導波路
 131 : 第n-1クラッド
 132 : 第n-1コア
 14 : 第n光導波路
 141 : 第nクラッド
 142 : 第nコア

【図2】



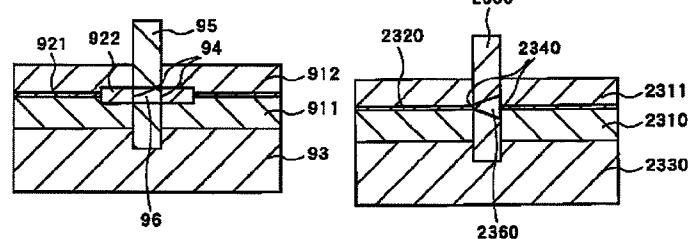
5 : 導波路端面
 16 : 光部品
 15 : 第1光導波路
 151 : 第1クラッド
 152 : 第1コア
 16 : 第2光導波路
 161 : 第2クラッド
 162 : 第2コア
 17 : 第n-1光導波路
 171 : 第n-1クラッド
 172 : 第n-1コア
 18 : 第n光導波路
 181 : 第nクラッド
 182 : 第nコア

【図8】



5 : 導波路端面
 26 : 光ファイバ
 53 : 基板
 511 : 下クラッド
 512 : 上クラッド
 521 : 第1コア
 522 : 第2コア
 523 : 第3コア
 524 : 第4コア

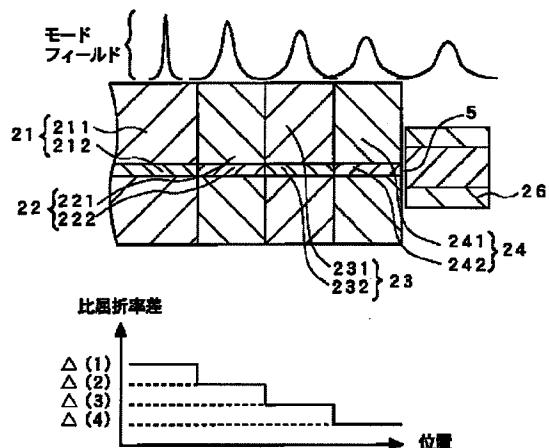
【図10】



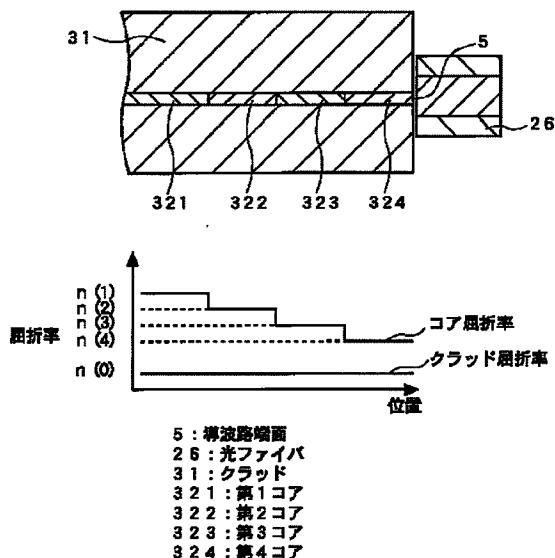
【図20】

2310 : 下クラッド
 2311 : 上クラッド
 2320 : 第1コア
 2330 : 基板
 2340 : 導波路端面
 2350 : 薄膜部材
 2360 : ビーム光

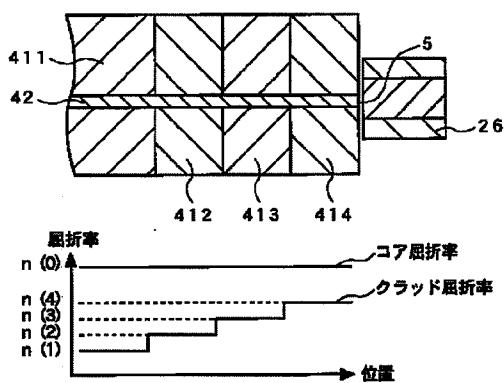
【図3】



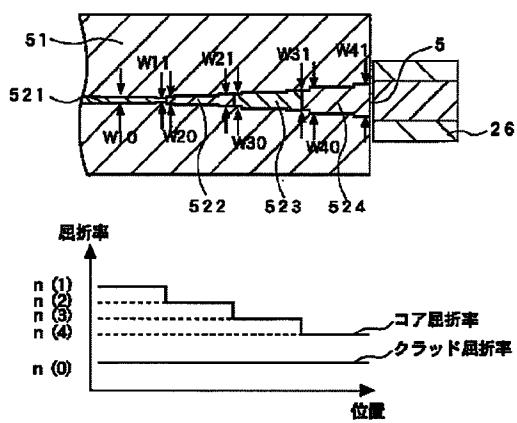
【図4】



【図5】



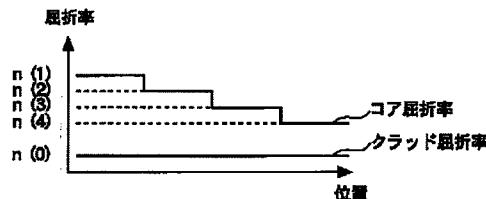
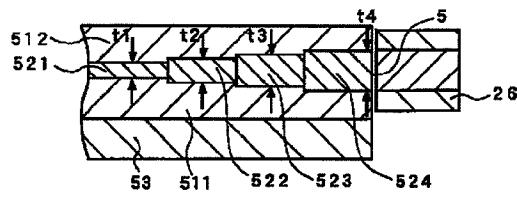
【図6】



5 : 導波路端面
26 : 光ファイバ
411 : 第1クラッド
412 : 第2クラッド
413 : 第3クラッド
414 : 第4クラッド
42 : コア

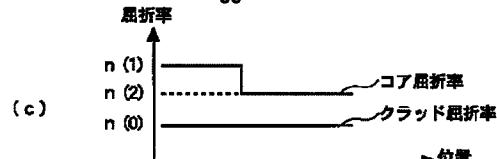
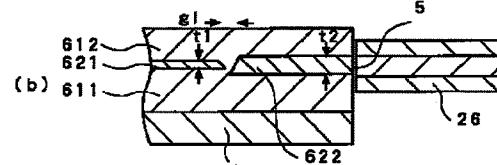
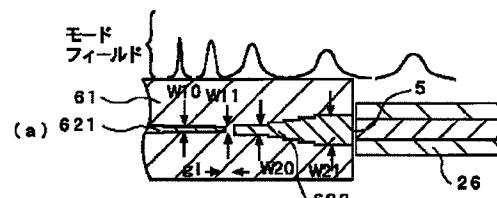
5 : 導波路端面
26 : 光ファイバ
51 : クラッド
521 : 第1コア
522 : 第2コア
523 : 第3コア
524 : 第4コア

【図7】



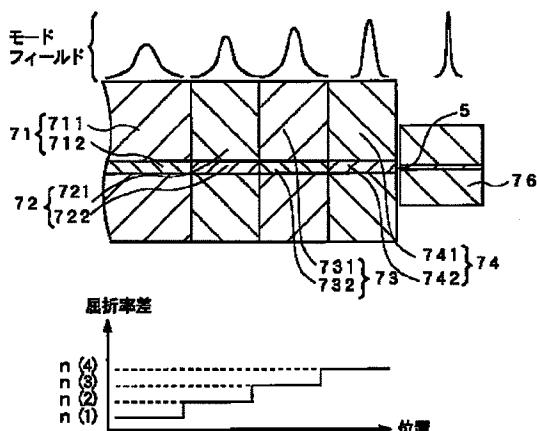
5 : 導波路端面
26 : 光ファイバ
53 : 基板
511 : 下クラッド
512 : 上クラッド
521 : 第1コア
522 : 第2コア
523 : 第3コア
524 : 第4コア

【図9】



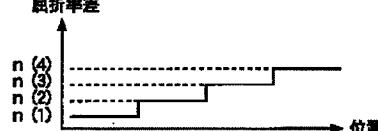
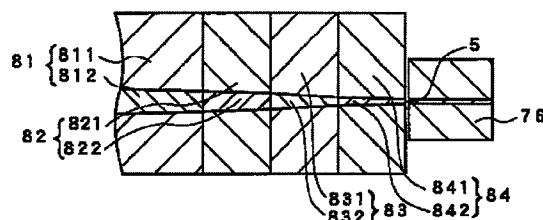
5 : 導波路端面
26 : 光ファイバ
61 : クラッド
611 : 下クラッド
612 : 上クラッド
621 : 第1コア
622 : 第2コア

【図11】



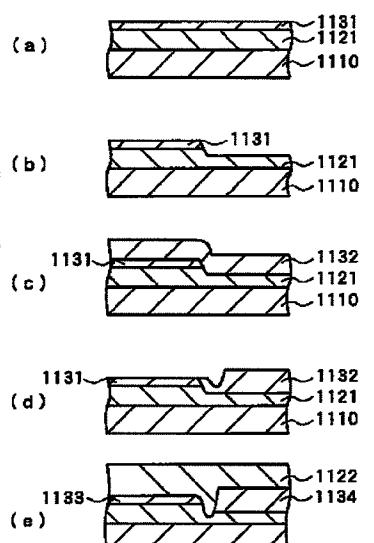
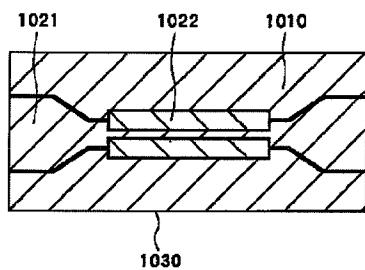
モード
フィールド
5 : 導波路端面
76 : 半導体光素子
71 : 第1光導波路
711 : 第1クラッド
712 : 第1コア
72 : 第2光導波路
721 : 第2クラッド
722 : 第2コア
73 : 第3光導波路
731 : 第3クラッド
732 : 第3コア
74 : 第4光導波路
741 : 第4クラッド
742 : 第4コア

【図12】

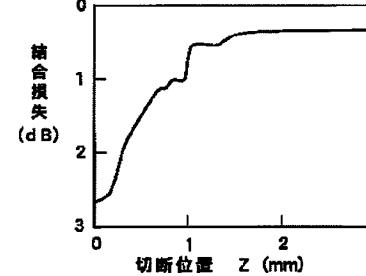
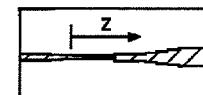


5 : 導波路端面
76 : 半導体光素子
81 : 第1光導波路
811 : 第1クラッド
812 : 第1コア
82 : 第2光導波路
821 : 第2クラッド
822 : 第2コア
83 : 第3光導波路
831 : 第3クラッド
832 : 第3コア
84 : 第4光導波路
841 : 第4クラッド
842 : 第4コア

【図13】



【図14】

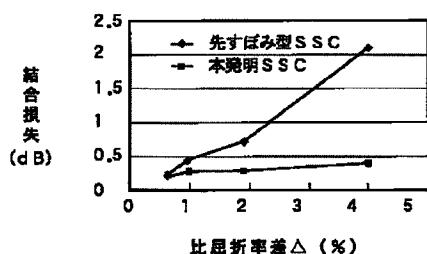


結合損失
(dB)

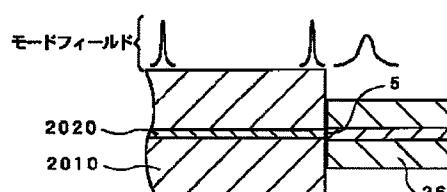
切断位置 Z (mm)

1110 : 基板
1121 : 下クラッド
1122 : 上クラッド
1131 : 第1コア層
1132 : 第2コア層
1133 : 第1コア
1134 : 第2コア

【図16】

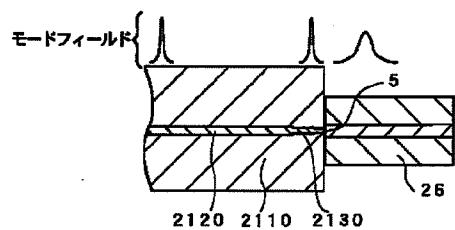


【図17】



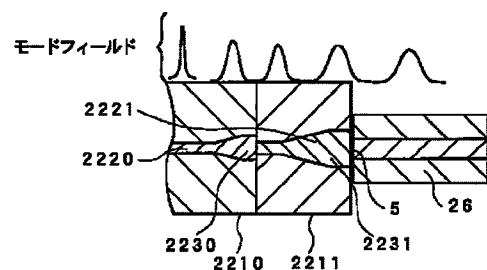
5 : 構造面
26 : 光ファイバ
2010 : クラッド
2020 : コア

【図18】



5: 構造面
26: 光ファイバ
2110: クラッド
2120: コア
2130: SSC

【図19】



5: 構造面
26: 光ファイバ
2210: 基板
2211: 入出力構造基板
2220: 第1コア
2221: 第2コア
2230、2231: SSC